

PAT-NO: JP356033518A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 56033518 A

TITLE: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING RATIO OF  
SPECTRAL  
SEPARATION

PUBN-DATE: April 4, 1981

INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
TAGAMI, ICHIZO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD	N/A

APPL-NO: JP54109346

APPL-DATE: August 28, 1979

INT-CL (IPC): G01J005/60

US-CL-CURRENT: 356/406

ABSTRACT:

PURPOSE: To enable the measurement of the ratio of spectral separation free from measurement restrictions such as the particularity of a light source, by obtaining a solution according to Planck's formula of radiation under prescribed boundary conditions on the basis of detection data on separated radiation fluxes of (m) colors from a measured object.

CONSTITUTION: Light flux from a measured light source 2 made of a film 2b, whose spectral radiation separation ratio is unknown and which covers a perfect

black body 2a of unknown temperature, is spectrally separated into light fluxes of three colors or the like by a filter 4. After the light fluxes are detected by a photoelectric converter 5a, the fluxes undergo A/D conversion. Compensation is effected by a calculator 6 depending on the transmission factor, gain, etc. of the filter. A compensated value is stored. The indexes of dispersion  $\epsilon_1 \sim \epsilon_3$  corresponding to effective wavelengths  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  and a temperature T are computed by the calculator 6 from m-color (three colors or the like) detected values  $X_i$  based on the stored value, dispersive power ( $\epsilon_i$ ) calculation formulae I, II based on Planck's formula of radiation and boundary conditions which restrict to (m-1) the degree of freedom calculated according to another formula III. The ratio of spectral radiation separation of the film 2b is thereby determined independently of measurement particularity. In this case, a condition  $n \geq m \geq 3$  is necessitated.

COPYRIGHT: (C)1981,JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁 (JP)  
⑫ 公開特許公報 (A)

⑪ 特許出願公開

昭56—33518

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 J 5/60

識別記号

庁内整理番号  
7172—2G

⑭ 公開 昭和56年(1981)4月4日

発明の数 2  
審査請求 未請求

(全 17 頁)

⑮ 分光率測定方法及びその装置

川島播磨重工業株式会社田無工場内

⑯ 特 願 昭54—109346

⑰ 出 願 人 石川島播磨重工業株式会社

⑱ 出 願 昭54(1979)8月28日

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

⑲ 発 明 者 田上市造

田無市向台町三丁目5番1号石

⑳ 代 理 人 弁理士 絹谷信雄

明 細 書

1. 発明の名称

分光率測定方法及びその装置

2. 特許請求の範囲

1) 被測定物からの放射束を  $n$  ( $n \geq 3$ ) 色の実効波長に分光し、夫々の分光放射束を電気的デジタル量に変換し、前記  $n$  色の実効波長に対するデジタル量から任意の  $m$  ( $n \geq m \geq 3$ ) 色の実効波長に対するデジタル量をj得て、前記放射束の温度を算出し、前記得られた  $m$  色の各デジタル量及び前記算出した温度を用いて実効波長に対する分光率の近似式に含まれる  $m-1$  個の未知パラメータを解いて実効波長に対する被測定物の分光率を測定することを特徴とする分光率測定方法。

2) 前記  $m$  色の実効波長内の実効波長間に

$$\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_{i+1}} = C \quad (i=1, 2, \dots, m-1)$$

なる関係が成り立つように前記  $m$  色の実効波長を選定することを特徴とする特許請求の範囲

図第1項記載の分光率測定方法。

3) 被測定物からの放射束を  $n$  ( $n \geq 3$ ) 色の実効波長に分光する分光手段と、分光放射束を電気的デジタル量に変換する変換手段と、電気的デジタル量を実効波長別に記憶する記憶手段及び

① 前記記憶手段の  $n$  個の電気的デジタル量から任意の  $m$  ( $n \geq m \geq 3$ ) 個のデジタル量を得る一方、得られた  $m$  個のデジタル量から放射束の温度を算出し、

② 得られたデジタル量及び算出された温度を用いて実効波長に対する分光率の近似式に含まれる  $m-1$  個の未知パラメータを解く計算手段

を含む計算装置とを備えたことを特徴とする分光率測定装置。

3. 発明の詳細な説明

本発明は被測定物の測定に際し被測定物に関する特定の測定条件例えば相対分光放射率等を既知として用いることなく、被測定物からの放射束を

少なくとも3色以上に分光して得た値から分光放射率等を測定し得る方法及びその装置に関する。

従来から被測定物からの放射束を測定する方法が各種提案されている。その1つは単色パイロメータ(米国特許第3611805号)、及び標準光源と比色する装置(特公昭43-16594号)である。これらは被測定物の分光放射率が一定であり被測定物に着色していないことを条件としているので、分光放射率自体が変化したり被測定物に着色がある場合には測定不可能になる。他の測定手段としては、特公昭42-4556号、特公昭42-19873号、特開昭53-45587号、米国特許第3715922号、米国特許第2648253号等が開示されている2色パイロメータである。これは夫々の色に対する検出値の比又は差を用い、被測定物の相対分光放射率を既知として固定しているから被測定物の組成等に変化が生ずる場合には測定誤差が大きくなってしまいという欠点を有する。又、多色パイロメータも特公昭50-26590号(米国特許第35373

14号)に開示されているが、本質的に2色パイロメータと同種の欠点を有している。又、特開昭53-123982号には金属表面の放射率を測定する装置が開示されているが、この装置では金属表面を既知の黒体光源で照射しなければならないという大きな制約がある外、表面状況及び反射方向に各種の制限がある。

このように、現在知られているこの種測定装置には、被測定物に関し測定条件に種々の制限を与え或いは特別な光源を用いての測定であるため、その装置による測定は限定された範囲でしか有効になし得ないものとなつてゐる。

本発明の目的は温度放射をしている被測定物からの放射束を分光して得られた $n$ 色の電気的デジタル量から得た $m$ 色のデジタル量から放射束の温度を求め、又、実効波長に対する分光率の近似式に含まれる $m-1$ 色の未知パラメータを解いて、分光率を求めるようになし、以つて何らの特定の光源を用いず、被測定物に対し測定上の制約となる何らの測定条件を与えずに分光率を測定し

- 3 -

- 4 -

うる分光率測定方法及びその装置を提供することにある。

本発明によれば、実効波長に対する分光率の近似式に含まれる $m-1$ 色のパラメータを、分光して得られた $n$ 色の実効波長に対するデジタル量から得た $m$ 色のデジタル量を用いて温度を求め $m$ 色の実効波長毎に完全黒体の分光放射束発散度を算出して解き、分光率を決定し得ているから、被測定物の分光率の測定においてこれを制約する条件を何ら与えることなしに分光率の測定をなし得ている。従つて、分光率及び温度が広範囲に変つても分光率等の測定を首尾よく達成し得る。

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適実施例を説明する。

本発明の装置実施例の説明に先立つて、その装置を容易に理解しうる本発明の測定法を説明する。

温度放射をしている被測定物からの放射束を分光光学系を経て受け $n$ 色の実効波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ に分光する。この分光放射束の各々を電気的デジタル量(検出値) $X_1, \dots, X_n$ に変換する。

- 5 -

$n$ 色の電気的デジタル量から $m$ 色の実効波長 $\lambda_i$ ( $i=1, 2, \dots, m$ )に対するデジタル量 $X_i$ を得て条件とし、実効波長に対する分光率(本明細書で分光率なる用語は分光放射率、分光反射率、分光透過率を意味する)の近似式に含まれる $m-1$ 色の未知パラメータ及び放射束の温度を未知数とし、各実効波長 $\lambda_i$ 毎に完全黒体の分光放射束発散度の式を用いて、温度と、分光率と、分光放射束との関係式を定めて方程式となし、方程式の根として温度及び分光率を算定する。実効波長毎の完全黒体の分光放射束発散度の計算には、例えば後述する如き、近似的にはウィーン(Wien)の放射式、又精密にはプランク(Planck)の放射式を用いる。

現在の電子計算機の能力をもつてすれば、前述の方程式を直接解くことが出来る。計算機の負担を軽くし、より簡単な計算処理で、より迅速な計算を行なうには後に詳述する計算方法が効果的である。

即ち分光率の近似式に $m-1$ 色の未知パラメー

- 6 -

を係数とする実効波長の $m-2$ 次整式を用いる。他の関数近似を行なう場合でも、Taylor展開を行ない $m-2$ 次整式に変形する。前述の方程式から分光率に関する未知数を消去して得られる温度に関する1元無理方程式(25)を解き温度を算定する。算定した温度を前述方程式に代入して、分光率を算定する。実効波長間に、前述の関係( $\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} = C$ )が成り立つ様にし、ウィーン放射式で近似計算するときには、前述1元無理方程式(25)は更に1元 $m-1$ 次方程式に変形出来、 $m=3$ や $m=4$ の場合には、根の公式を用いて温度を直接算定することが出来る。

-7-

例えば石炭燃焼炉を例にとると、石炭の形状、石炭を覆う灰の分光放射率、周辺燃焼ガスの分光透過率、燃焼室観測窓の分光透過率、石炭燃焼炉から上述の分光光学系まで導く光路の分光透過率を一括して被測定物の分光放射率となしで表わす。ゲイン $g$ 及び分光放射率は実効波長によつて異なる値をとる。

先ず、分光光学系を3色分光光学系で構成し、以下に述べる如くして分光放射率及び温度を測定する3色分光法について説明する。

3色に分光する光学系の各色に対する実効波長を $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ とし、各実効波長に対する被測定物の分光放射率、ゲイン、並びに電気的デジタル値を夫々、 $\epsilon_1, \epsilon_2$ 、及び $\epsilon_3, g_1, g_2$ 、及び $g_3$ 、並びに $X_1, X_2$ 、及び $X_3$ とし、温度放射をしている被測定物の温度を $T$ とする。ウィーン放射式で表わされる各実効波長に対する分光放射束発散度は夫々

$$M_1 = C_1 \lambda_1^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_1 T} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$M_2 = C_1 \lambda_2^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_2 T} \quad \dots\dots\dots (2)$$

-9-

このようにして、分光率及び温度 $T$ が測定されるが、実効波長での分光放射束発散度の算出にウィーン放射式を用いた場合について更に詳しく説明し、続いて実効波長での分光放射束発散度の算出にプランクの放射式を用いた場合について更に詳しく説明する。

本発明においては、上述の如く、温度放射をしている被測定物の放射束は分光光学系例えば集光器、フィルタを経て分光された分光放射束は、後に電気的デジタル量に変換する手段例えば光電変換器、アナログ-デジタル変換器(以下、A-D変換器と呼ぶ。)を通るが、分光光学系の集光器の集光率、フィルタの透過率(その帯域透過エネルギーに当価なエネルギーとなる波長を実効波長という。)、並びに変換手段の光電変換器の変換率、A-D変換器のゲイン等の特性は常に知り得る管理状態の下に置き、これらを総合した値をゲイン $g$ と表わすものとする。このようなゲイン $g$ は既知の値として取扱うことが出来る。これとは逆に、管理し得ない光路の未知の光学特性例

-8-

$$M_3 = C_1 \lambda_3^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_3 T} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。但し、式(1)、(2)及び(3)において

$$C_1 = 3.74150 \times 10^{-16} \quad \text{w} \cdot \text{m}^2$$

$$C_2 = 1.43879 \times 10^{-2} \quad \text{m} \cdot \text{deg}$$

である。

これらの分光放射束発散度 $M_1, M_2, M_3$ と上述の電気的デジタル値 $X_1, X_2, X_3$ との間には周知の次の如き関係がある。

$$X_1 = g_1 \epsilon_1 M_1 = g_1 \epsilon_1 C_1 \lambda_1^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_1 T} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$X_2 = g_2 \epsilon_2 M_2 = g_2 \epsilon_2 C_1 \lambda_2^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_2 T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$X_3 = g_3 \epsilon_3 M_3 = g_3 \epsilon_3 C_1 \lambda_3^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_3 T} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$X_1, X_2, X_3$ と $M_1, M_2, M_3$ との関係の下において、実効波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ に対する分光放射率 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ は本来夫々任意な値をとり得るが、束縛条件を設けて次式即ち実効波長の一次整式が成り立っているものと見做す。

$$\epsilon_1(\lambda_2 - \lambda_3) + \epsilon_2(\lambda_3 - \lambda_1) + \epsilon_3(\lambda_1 - \lambda_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(7)をグラフに表わしたものが第1図である。第

-10-

1 図において横軸は実効波長  $\lambda$  を、縦軸は分光放射率  $\epsilon$  を表わす。座標  $(\lambda_1, \epsilon_1)$  (P.1), 座標  $(\lambda_2, \epsilon_2)$  (P.2), 座標  $(\lambda_3, \epsilon_3)$  (P.3) は直線  $L$  上にある。

式(4), (5)及び(6)を用いて式(7)を電子計算器で直接解くことにより、分光放射率  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  及び  $T$  を求めることが出来る。

式(7)を解くのをより簡単にするために実効波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  間に次式が成り立つ、製造精度を無視した分光光字系を選定する。

$$\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_3} = \alpha \quad (8)$$

但し、式(8)において、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$  とする。

式(4), (5), (6), (8)を用いて式(7)を解くと、各分光放射率及び温度  $T$  について下記のような二種類の測定値が得られる。

$$T = \frac{1}{\ln \left( \frac{X_3 \epsilon_1 \lambda_1^4 k}{X_1 \epsilon_3 \lambda_1^4 \bar{k}} \right) \frac{1}{2C\alpha}} \quad (9)$$

-11-

尚、式(13), (14), (15) 及び (16) の根号内は次のように変形することから負にはならない。

$$1 - \frac{X_1 X_3 \epsilon_1^2 \lambda_1^4}{X_2^2 \epsilon_1 \epsilon_3 \lambda_2^4} = 1 - \frac{4}{\left( \sqrt{\frac{\epsilon_1 \lambda_3}{\epsilon_3 \lambda_1}} + \sqrt{\frac{\epsilon_3 \lambda_1}{\epsilon_1 \lambda_3}} \right)^2} \geq 0$$

上述した分光放射率  $\epsilon$  及び温度  $T$  についての2種類の測定値をグラフで示したのが第2図である。第2図において、横軸には実効波長  $\lambda$  を、又縦軸には分光放射率  $\epsilon$  をとつてある。第1種類の測定値は原点  $(0, 0)$  と座標  $(\lambda_2, \epsilon_2)$  とを結ぶ直線  $L_1$  と座標  $(\lambda_3, 0)$  と座標  $(\lambda_2, \epsilon_2)$  とを結ぶ直線  $L_2$  とで囲まれる斜線領域 A 1 内にある。従つて、第1図における直線  $L$  は第2図においては斜線領域 A 1 内に描かれる。又、第2種類の測定値は直線  $L_1$  と、座標  $(\lambda_1, 0)$  と座標  $(\lambda_2, \epsilon_2)$  とを結ぶ直線  $L_3$  とで囲まれる斜線領域 A 2 内にある。従つて、第1図における直線  $L$  は第2図においては斜線領域 A 2 内に描かれる。

-13-

$$\epsilon_1 = \frac{X_2 \lambda_2^4 \lambda_1}{C_1 \rho_2} \left( \frac{X_2 \rho_1 \lambda_2^4}{X_1 \rho_2 \lambda_1^4} \right)^{\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}} \frac{\lambda_2}{k} \quad (10)$$

$$\epsilon_2 = \frac{X_2 \lambda_2^4}{C_1 \rho_2} \left( \frac{X_3 \rho_1 \lambda_2^4 k}{X_1 \rho_3 \lambda_1^4 \bar{k}} \right)^{\frac{\lambda_3 + \lambda_1}{2(\lambda_3 - \lambda_1)}} \quad (11)$$

$$\epsilon_3 = \frac{X_3 \lambda_3^4 \lambda_1}{C_1 \rho_2} \left( \frac{X_2 \rho_1 \lambda_2^4}{X_3 \rho_2 \lambda_1^4} \right)^{\frac{\lambda_3}{\lambda_2 - \lambda_1}} \frac{\lambda_2}{k} \quad (12)$$

但し、式(9), (10), (11) 及び (12) における  $k$  及び  $\bar{k}$  は第1種類の測定値については式(13), (14) を、又第2種類の測定値については式(15), (16) を用いる。

$$k = 1 + \sqrt{1 - \frac{X_1 X_3 \rho_2^2 \lambda_1^4 \lambda_3^4}{X_2^2 \rho_1 \rho_3 \lambda_2^4}} \quad (13)$$

$$\bar{k} = 1 - \sqrt{1 - \frac{X_1 X_3 \rho_2^2 \lambda_1^4 \lambda_3^4}{X_2^2 \rho_1 \rho_3 \lambda_2^4}} \quad (14)$$

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{X_1 X_3 \rho_2^2 \lambda_1^4 \lambda_3^4}{X_2^2 \rho_1 \rho_3 \lambda_2^4}} \quad (15)$$

$$\bar{k} = 1 + \sqrt{1 - \frac{X_1 X_3 \rho_2^2 \lambda_1^4 \lambda_3^4}{X_2^2 \rho_1 \rho_3 \lambda_2^4}} \quad (16)$$

-12-

上述の温度  $T$  を表わす式(9)並びに分光放射率を表わす式(10), (11) 及び (12) は他の形で表わし得る。例えば、式(9)は

$$T = \frac{1}{\ln \left( \frac{X_3 \epsilon_1 \lambda_1^4}{X_1 \epsilon_3 \lambda_1^4} k \right) \frac{1}{C_2 \alpha}} = \frac{1}{\ln \left( \frac{X_3 \epsilon_1 \lambda_1^4}{X_1 \epsilon_3 \lambda_1^4} \bar{k} \right) \frac{-1}{C_2 \alpha}} \quad (9')$$

と表わし得、式(10), (12) は夫々

$$\epsilon_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} k \epsilon_2 \quad (10')$$

$$\epsilon_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \bar{k} \epsilon_2 \quad (12')$$

と表わし得る。

上述した3色分光法は実効波長に対する分光放射率の関係が一次整式で表わしうる程度の変化を、実効波長に対し分光放射率が呈している場合には、その精度を確保し得るが、実効波長に対し分光放

-14-

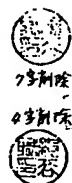
射率が複雑に変化する場合に、3色分光法を採用し得なくなる。しかしながら、狭範囲の実効波長又は、予め分光放射率の変化の特性が判つており、分布曲線の極値等の特定波長を組み合わせた場合については、3色分光法即ち式(7)による直線近似をなすことが出来る。

このような実効波長の狭範囲又は特定実効波長毎に上述の3色分光法を適用してn色の実効波長に分光放射率 $\epsilon$ 、並びに温度Tを測定する方法を、本明細書において、3色分光法を応用したn色分光法と呼ぶ。

第3図は3色分光法を応用したn色分光法により、各実効波長に対する分光放射率 $\epsilon$ 、並びに温度Tを測定する場合を図解する図である。第3図においても、横軸に実効波長 $\lambda$ をとり、縦軸に分光放射率 $\epsilon$ をとつてゐる。そして、実効波長はn色であることから、n個の実効波長が横軸上に点存在させて示されている。この方法はこれらの実効波長範囲の内の狭範囲内の任意の3つの実効波長毎にあるいは3つの特定実効波長毎に式(7)の関

係が成り立つものとして各実効波長に対する分光放射率 $\epsilon$ 及び温度Tを求める方法であること、上述の通りである。これを第3図を用いて例示すれば、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 及び $\lambda_3$ に対する分光放射率 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 及び $\epsilon_3$ を線分 $\angle 123$ で、実効波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ に対する分光放射率 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$ を線分 $\angle 345$ で、実効波長 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 及び $\lambda_k$ に対する分光放射率 $\epsilon_i$ 、 $\epsilon_j$ 及び $\epsilon_k$ を線分 $\angle ijk$ で、実効波長 $\lambda_{n-2}$ 、 $\lambda_{n-1}$ 及び $\lambda_n$ に対する分光放射率 $\epsilon_{n-2}$ 、 $\epsilon_{n-1}$ 及び $\epsilon_n$ を線分 $(\angle_{n-2 \ n-1 \ n})$ で近似しうる関係が第3図に示されている。

ここで $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\lambda_k$ は必ずしも隣接する必要はなく、その間に他の実効波長例えば $\lambda_x$ 、 $\lambda_{j+1}$ が介在することは任意である。又、実効波長 $\lambda_x$ に対する分光放射率 $\epsilon_x$ が線分 $\angle x$ にある線にすること、実効波長 $\lambda_{j+1}$ に対する分光放射率 $\epsilon_{j+1}$ を3色分光法の計算に用いないこと、実効波長 $\lambda_i$ に対する分光放射率 $\epsilon_i$ を線分 $\angle 123$ 及び線分 $\angle 345$



-15-

-16-

に共用し、重複使用すること等任意である。あるいは、波長 $\lambda_x$ に対応する分光々学系がなく、従つて、それに対応する電気的デジタル量 $X_x$ がなく、実効波長 $\lambda_i$ と $\lambda_j$ の夫々に対応する電気的デジタル量 $X_i$ 、 $X_j$ とから内挿して仮想上の実効波長 $\lambda_x$ と仮想上の電気的デジタル量 $X_x$ を導出し、仮想上の分光放射率 $\epsilon_x$ を設けることは任意である。

これらの3つの実効波長 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\lambda_k$ のサブグループについての電気的デジタル量 $X_i$ 、 $X_j$ 、 $X_k$ を得て、 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\lambda_k$ に対する分光放射率 $\epsilon_i$ 、 $\epsilon_j$ 、 $\epsilon_k$ の関係を、上述の3色分光法と同様、式(7)で表わしうるものと見做し、上記 $X_i$ 、 $X_j$ 、 $X_k$ を用いて式(7)を解いて、各サブグループ毎に、そのサブグループの実効波長 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\lambda_k$ に対する分光放射率 $\epsilon_i$ 、 $\epsilon_j$ 、 $\epsilon_k$ 及び温度Tに関する2種類の測定値を得る。

このように測定される各実効波長に対する分光放射率 $\epsilon$ 、及び温度Tは、本来1面の値であるが、測定上において多価(サブグループの数の2倍の

価)の値が得られる。これらの複数の値即ち各サブグループの2種類の内からいずれかの種類の測定値を、分光放射率 $\epsilon$ 及び温度Tとして、選ぶ方法は分光放射率及び温度が一義的に矛盾なく定まらうように各サブグループの測定値を比較検討しつつ選定する。

その1つの方法として、n個のサブグループ毎の温度を平均して平均温度 $T_0$ を求める。この平均温度を用いて次式から各実効波長に対する分光放射率 $\epsilon_i$ を求める。

$$\epsilon_i = \frac{X_i \lambda_i^2}{p_i C_i} \exp \left( \frac{C_2}{\lambda_i T_0} \right) \quad \text{..... (17)}$$

又、実効波長を

$$\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_{i+1}} = \alpha \quad \text{..... (8')}$$

(但し、(8')式において、 $i = 1, 2, 3 \dots n-1$ である。)なる関係に選定し、相隣接する3つの実効波長で各サブグループを構成すると平均温度 $T_0$ は次式で求まる。

-18-

-19-

$$\frac{1}{T_0} = \left( \frac{1}{T_{123}} + \frac{1}{T_{234}} + \dots + \frac{1}{T_{n-2, n-1, n}} \right) \cdot \frac{1}{n-2}$$

$$= \epsilon_n \left( \frac{X_{n-1} X_n \rho_1 \rho_2 \lambda_{n-1}^4 \lambda_n^4 k_{123} k_{234}}{X_1 X_2 \rho_{n-1} \rho_n \lambda_1^4 \lambda_2^4 \bar{k}_{123} \bar{k}_{234}} \right. \\ \left. \dots \frac{k_{n-2, n-1, n}}{\bar{k}_{n-2, n-1, n}} \right) \frac{1}{2 C_2 \alpha (n-2)} \quad \dots \dots \dots (18)$$

但し、(18)式において、 $k_{i, i+1, i+2}$  及び  $\bar{k}_{i, i+1, i+2}$  ( $i = 1, 2, \dots, n-2$ ) は夫々、実効波長  $\lambda_i$ 、 $\lambda_{i+1}$ 、 $\lambda_{i+2}$  のサブグループに対し式(13)、(14)及び(15)、(16)を適用して求められる値である。

上述して来た3色分光法及び3色分光法を用いた  $n$  色分光法は被測定物の温度  $T$  及び分光放射率  $\epsilon$  を、近似的に極めて簡単な関数で求め得るものであり、その求められた値は正確な測定値を要求されない場合にはその値をそのまま用い得るに留まる近似値である。従つて、正確な測定値を要求される場合には、以下に述べる測定法を用いな

-19-

すると、プランクの放射式で表わされる、実効波長  $\lambda_i$  に対する分光放射率発散度  $M_i$  は

$$M_i = C_1 \lambda_i^{-5} \left( \exp \frac{C_2}{\lambda_i T} - 1 \right)^{-1} \quad \dots \dots (19)$$

で表わされる。但し、 $C_1$  及び  $C_2$  はウイーンの放射式の夫々と同じ値をとる。

この分光放射率発散度  $M_i$  と検出値  $X_i$  との間には周知の次の如き関係がある。

$$X_i = \rho_i \epsilon_i M_i \\ = \rho_i \epsilon_i C_1 \lambda_i^{-5} \left( \exp \frac{C_2}{\lambda_i T} - 1 \right)^{-1} \quad \dots \dots (20)$$

式(20)を変形すると、分光放射率  $\epsilon_i$  と、温度  $T$ 、実効波長  $\lambda_i$ 、ゲイン  $\rho_i$  及び検出値  $X_i$  との間の次の関係式が得られる：

$$\epsilon_i = \frac{X_i}{\rho_i M_i} = \frac{X_i \lambda_i^5}{\rho_i C_1} \left( y^{\frac{1}{\lambda_i}} - 1 \right) \quad \dots \dots (21)$$

$$y = \exp \frac{C_2}{T} \quad \dots \dots \dots (22)$$

-21-

特開昭58- 33518(6)

ければならない。この測定法では後述するところから明らかになるように、正確な測定値を求める際に近似値を必要とするが、その近似値を、上述した3色分光法又は3色分光法を応用した  $n$  色分光法により実効波長に対し式(8)又は(8')の関係を選定し又は選定せずして求め、正確な測定値を得るのに用いる。あるいは後述する式(40-1)、式(40-2)で得られる値を正確な測定値を得るのに用いる。

この測定法は分光光学系を  $m$  色分光光学系で構成し、温度放射の算定にプランクの放射式を用い以下に述べるようにして分光放射率及び温度の正確な測定値を得る方法であり、以下精密  $m$  色分光法と称する。

$m$  色に分光する  $m$  色分光光学系のフィルタの、 $m$  色内の任意の色に対する実効波長を  $\lambda_i$  とし、3色分光法等と同様実効波長  $\lambda_i$  に対する測定系のゲイン及び電氣的デジタル値、並びに被測定物の分光放射率を夫々  $\rho_i$  及び  $X_i$  並びに  $\epsilon_i$  とし、温度放射をしている被測定物の温度を  $T$  と

-20-

実効波長  $\lambda_i$  に対する分光放射率  $\epsilon_i$  は、全く自由な値をとり得るが、次の様な相互の従属関係で  $m-1$  自由度となる様な束縛条件を創設する。

$$\epsilon(\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_m) = 0 \quad \dots \dots (23)$$

式(23)の関数  $\epsilon$  の形は適宜定めることが出来る。式(23)と、 $m$  色の式から構成される式(21)とを連立させて、 $y$  即ち温度  $T$  と、 $m$  色の分光放射率  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_m$  を解くことは電子計算器で出来る。

ここで、計算をより簡略化する為に、式(23)の特別な例として、実効波長  $\lambda_i$  に対する分光放射率  $\epsilon_i$  が次の如き  $m-2$  次整式(23')で近似され、 $m$  組の座標  $(\lambda_1, \epsilon_1), (\lambda_2, \epsilon_2), \dots, (\lambda_m, \epsilon_m)$  がすべて  $m-2$  次整式で表わされる曲線上にあるものと見做す場合につき詳述する。

$$\sum_{i=1}^m A_i \epsilon_i = 0 \quad \dots \dots (23')$$

$$A_i = (-1)^{i-1} \prod (\lambda_k - \lambda_j) \quad \dots \dots (24)$$

但し、式(24)において、 $k$  及び  $j$  は  $k \neq 1, j \neq$

-22-

$i, k > j, 2 \leq k \leq m, 1 \leq j \leq m-1$  を満足する自然数である。式(24)の  $\pi(\lambda_k - \lambda_j)$  は  $k$  及び  $j$  のすべての組み合わせについて因子  $(\lambda_k - \lambda_j)$  を掛け合わせる乗積を要する。

式(21)及び(23')から次の無理方程式が導かれる。

$$\sum_{i=1}^m B_i y^{\frac{1}{\lambda_i}} - \sum_{i=1}^m B_i = 0 \quad (25)$$

$$B_i = \frac{X_i \lambda_i^4}{\rho_i C_1} A_i \quad (26)$$

式(25)の左辺を

$$H(y) = \sum_{i=1}^m B_i y^{\frac{1}{\lambda_i}} - \sum_{i=1}^m B_i \quad (27)$$

とおくと、この  $H(y)$  の  $y$  についての微係数は

$$\frac{\partial H(y)}{\partial y} = \sum_{i=1}^m D_i y^{\frac{1}{\lambda_i} - 1} \quad (28)$$

$$D_i = \frac{X_i \lambda_i^4}{\rho_i C_1} A_i \quad (29)$$

-23-

において疑似光源の傾向を強く表わしている測定値を棄却して温度及び分光放射率が一義的に矛盾なく定まるように正しい測定値を選択する。この測定値以外の測定値は疑似測定値である。

疑似測定値は被測定物に関する測定値を同じくしてしまふような疑似光源が存在しうることと一致する。即ち、成る色温度にある完全黒体を、他の色温度にある完全黒体からの放射束に等しい放射束を出しうる適切なフィルタで覆つて上記他の色温度にある疑似光源を作ることが可能である。

上述したところでは、各実効波長間に特定の関係が選定されていないが、 $m$  色の実効波長範囲内において、実効波長に対し

$$\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_{i+1}} = \alpha \quad (8'')$$

[但し、 $i = 1, 2, 3, \dots, m-1$  である。 $\lambda_m$  は零から無限大までの正の値とする。]なる関係で  $m$  色分光光学系を選定すると、式(25)を次式の如く変形することが出来る。

となる。この微係数を用いて式(25)を Newton-Raphson 法で解く。その  $y$  を求める反復式は

$$y = y_0 - \frac{H(y_0)}{\left. \frac{\partial H(y)}{\partial y} \right|_{y=y_0}} \quad (30)$$

で表わされる。但し、式(30)において、 $y = y_0$  における  $H(y)$  の値を  $H(y_0)$  で、又  $\left. \frac{\partial H(y)}{\partial y} \right|_{y=y_0}$  の値を  $\left. \frac{\partial H(y)}{\partial y} \right|_{y=y_0}$  で表わしてある。

このようにして、 $y$  の値を求める初期値として上述した如く、3色分光法又は3色分光法を応用した  $n$  色分光法から得られる測定値あるいは後述する式(40-1)式(40-2)で得られる値を式(22)へ代入して用いる。

求められた  $y$  を用いて式(21)及び(22)から分光放射率及び温度の測定値を求める。

この測定値は  $m$  種類得られる。この  $m$  種類の測定値の中から、次のようにして、正しい測定値を得る。即ち、負温度、無限大の温度、1より大くなる分光放射率を棄却しつつ、他の値との関係

-24-

$$y^{\frac{1}{\lambda_m}} \sum_{i=1}^m F_i y^{(m-i)\alpha} - \sum_{i=1}^m F_i = 0 \quad (25')$$

$$F_i = (-1)^{i-1} \frac{C_{m-i-1}}{C_{m-1}} \frac{X_i \rho_i}{X_1 \rho_1} \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right)^{7-m} \quad (31)$$

但し、式(31)において、 $\frac{C_{m-i-1}}{C_{m-1}} = \frac{(m-1)!}{(i-1)!(m-i)!}$  の組合わせを要する。

式(25')を、式(25)と同様に、Newton-Raphson法で解いて  $y$  を求め、この  $y$  の値から、実効波長に式(8'')の関係がない場合と同様に、正しい分光放射率及び温度を得る。

次に、上述した3色分光法を応用した  $n$  色分光法において、3色分光法の代りに精密  $m$  色分光法を用いる測定法、即ち精密  $m$  色分光法を応用した  $n$  色分光法を以下に説明する。

この精密  $m$  色分光法を応用した  $n$  色分光法は  $n$  ( $n \geq m \geq 3$ ) 色の内の、適宜に選ばれる  $m$  色のサブグループ毎の実効波長について精密  $m$  色分光法で温度及び分光放射率を測定する方法である。この方法は3色分光法を応用した  $n$  色分光法の場

-26-

-25-

合には入ってしまうウィーン放射式の誤差並びに直接近似することから入つて来る測定誤差を除くことが出来る。

この測定法においても、精密 $m$ 色分光法と同様、各サブグループ毎に測定値に $m$ 種類の測定値が得られるが、これらの測定値から精密 $m$ 色分光法で用いたと同じ手法を用いつつ各サブグループ間の比較をなして互いに相離れた測定値を棄却し、多数決論理で正しい測定値を選択して平均温度を得る。この平均温度を用いて各実効波長に対する分光放射率を得る。

被測定物の温度を測定するのに必ずしもすべての実効波長について測定値を得る必要はない。例えば、被測定物が水蒸気、炭酸ガス、有機ガス等で覆われ、これ等の中間赤外線の特異な吸収特性を利用して組成を測定しようとする場合には、フィルタの実効波長を、これら特異な光吸収帯に合わせておき、他方温度測定にはこれらの検出値を用いない方が測定しやすい場合がある。

上述した2つの測定法即ち精密 $m$ 色分光法及び

-37-

長を式(8')の關係に選定し、実効波長に対する分光放射率 $\epsilon$ を $m-2$ 次整式で近似して測定値を求める方程式を表わしている。式(32)において $m=3$ とすると、上述した式(9)、(10)、(11)及び(12)を導くことが出来る。

式(32)において左辺を $G(Y)$ とおき、 $m=3$ として3色分光法による測定値を求めるための方程式の根と、式(25')において $m=3$ として精密3色分光法による測定値を求めるための方程式の根との關係を第4図に示す(式(25')で $y^\alpha = Y$ とする)。第4図において、横軸は $Y$ を、又縦軸は $G(Y)$ 又は式(25')の左辺の値を表わす。

第4図の曲線 $L_0$ は3色分光法の場合の曲線を表わす。曲線 $L_0$ と横軸との交点 $P_0$ は3色分光法で得られる第1種類の測定値を求めるのに用いられる $Y_1$ であり、交点 $P_5$ はその第2種類の測定値を求めるのに用いられる $Y_2$ である。

第4図の曲線 $L_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$ はいずれも精密3色分光法の場合の曲線を表わす。 $L_6$ は式(25')の $\sum_{i=1}^m F_i < 0$ である場合、 $L_4$ は $\sum_{i=1}^m F_i > 0$ で

-38-

これに応用した $n$ 色分光法において実効波長間に特定の關係を選定した場合に於ても、実際に製造された実効波長を用い製造誤差を補正することが出来る。又、これらの測定法によると、完全黒体の分光放射率発散度が最大となる波長より長波長側での精度は初めに述べた2つの測定法より良い。

次に、同一の被測定物についての測定値が3色分光法と精密3色分光法とでどのような差違が生じるかについて説明する。

式(25')において $\sum_{i=1}^m F_i = 0$ とおくと、完全黒体の分光放射率発散度をウィーン放射式で計算するのと同じになる。式(22)で $T \geq 0$ であることから $y \geq 1$ なることを考慮すると、式(25')は式(32)となる。

$$\sum_{i=1}^m F_i y^{(m-i)} = 0 \quad \text{..... (32)}$$

$$Y = \exp \frac{C_2 \alpha}{T} \quad \text{..... (33)}$$

式(32)は完全黒体の分光放射率発散度をウィーン放射式で求める $m$ 色分光法において、実効波

-39-

ある場合を表わしている。 $L_4$ は $\sum_{i=1}^m F_i = 0$ である場合を表わしている。曲線 $L_4$ と横軸との交点は原点及び曲線 $L_0$ の横軸との交点と一致する点である。

精密3色分光法では一般的には $\sum_{i=1}^m F_i \approx 0$ であるから $m=3$ とする式(25')の解は曲線 $L_5$ 又は $L_6$ と横軸との交点として求められる。この解を求める初期値として交点 $P_4$ 及び $P_5$ を用いて反復式(30)により、例えば交点 $P_6$ 及び $P_7$ の値を得る。

次に、分光放射率を実効波長の一次整式で近似した場合に、或る実効波長に対する近似分光放射率が真実の値とは異なっている場合にどの位の測定誤差が出るかを第1図を用いて説明する。

実効波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ に対する分光放射率 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$ が第1図の直線 $L_1$ にあるものと見做したが、もし実効波長 $\lambda_2$ に対する真実の分光放射率 $\epsilon_0$ が座標 $P_2'$ の如き關係にあるものとすれば、式(5)及び(7)は

$$X_2 = \rho_2 \epsilon_0 C, \lambda_2^{-5} \exp \frac{-C_2}{\lambda_2 T} \quad \text{..... (5')}$$

-39-

$$\epsilon_1(\lambda_2 - \lambda_0) + d\epsilon_2(\lambda_0 - \lambda_1) + \epsilon_3(\lambda_1 - \lambda_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (7')$$

と表わされるべきである。但し、式(7')において、 $d\epsilon_1 = \epsilon_2$  である。

式(6)および(7)を用いて得られる3色分光法の測定値 $\epsilon_2$ は次の如く修正されねばならない。

第1種類の測定値については

$$\epsilon_2 = \left( \frac{d + \sqrt{d^2 - \omega}}{1 + \sqrt{1 - \omega}} \right)^{\frac{\lambda_0 + \lambda_1}{\lambda_0 - \lambda_1}} \cdot \epsilon_2 \quad \dots\dots\dots (34)$$

とし、第2種類の測定値については

$$\epsilon_2 = \left( \frac{d - \sqrt{d^2 - \omega}}{1 - \sqrt{1 - \omega}} \right) \epsilon_2 \quad \dots\dots\dots (35)$$

としなければならない。但し、 $\omega = \frac{X_1 X_0 \rho_2^2 \lambda_1^4 \lambda_0}{X_2^2 \rho_1 \rho_3 \lambda_2^4}$  である。このことは3色分光法では測定誤差が出やすいことを表わしている。

続いて、温度の測定値に対して分光放射率の測定誤差が与える影響について説明し、更に従来の2色分光法でどの様な誤差を生じるかを説明する。

-71-

色し、 $t = t_0$  ならば、灰色と見做したことによる誤差は次の様になる。

$$\begin{aligned} \Delta T_0 &= - \frac{T_0^2 \lambda_1}{2\alpha C_2 \lambda_2} \Delta t \\ &= - \frac{T_0^2 \lambda_1 (2\lambda_1 - \lambda_2)}{2C_2 (\lambda_2 - \lambda_1)} \Delta t \quad \dots\dots\dots (37') \end{aligned}$$

式(37')は特別な場合即ち $\lambda_2 = \infty$  言い換えれば $\lambda_2 = 2\lambda_1$  の場合には誤差を生じない。3色分光法に於て式(6)の関係を保ちつゝ実効波長 $\lambda_0$ を無限大に近づけ、その極限として実効波長 $\lambda_0$ に対する分光を無意味なものとなすことで存在する2色分光法は、非常に特殊な2色分光法である。

言い換えれば、非常に特殊な実効波長( $\lambda_2 = 2\lambda_1$ )で分光する2色分光法は、実効波長 $\lambda_0$ が、0から無限大迄の値をとり得る本発明の3色分光法に含まれ、式(8''')の關係に実効波長を選択する3色分光法となる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} &= \frac{1}{\lambda_0} \\ \lambda_2 &= \infty \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (8''')$$

-73-

第1図に示すように分光放射率を実効波長の一次整式で近似した場合において

$$t = \frac{\lambda_0 \epsilon_1}{\lambda_1 \epsilon_2} \quad \dots\dots\dots (36)$$

で表わすと

$$t = \frac{k}{k} \quad \dots\dots\dots (36')$$

となる。

測定値について $t = t_0$  となるとき温度の測定値を $T_0$ であつたとする。 $t$ の値が $t = t_0 + \Delta t$ で表わされねばならないとすると、 $t = t_0 + \Delta t$ における温度の測定値も $T_0 + \Delta T_0$ と変わつて来る。この温度測定誤差 $\Delta T_0$ は式(9)から

$$\Delta T_0 = - \frac{T_0^2}{2\alpha C_2 t_0} \Delta t \quad \dots\dots\dots (37)$$

として求めることが出来る。

$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$  と見做して測定する場合、即ち被測定物を灰色と見做して測定する場合、式(36)から $t_0 = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}$  となる。もし被測定物が着

-72-

$\lambda_2 \approx 2\lambda_1$  の実効波長を利用し、被測定物を灰色と見做す温度測定法で、もし、被測定物が灰色でない場合には、式(37')の様な測定誤差を生ずる。又、従来の2色分光法で、被測定物の相対分光放射率を特定して測定する場合、もし、被測定物の相対分光放射率が特定と異なつている場合、式(37)の様な測定誤差を生じる。

次に、式(32)の左辺を $G(Y)$ とおき $m=4$ として分光放射率を実効波長の2次整式で近似する4色分光法で得られる測定値のための $Y$ と、3色分光法で得られる測定値のための $Y$ との比較を第5図を用いて説明し、更にこれ等の測定法と、2色分光法とではどの様な差異が生じるかを説明する。

第5図において、横軸に $Y$ をとり、縦軸に式(32)の左辺で表わす $G(Y)$ をとつて示す。曲線 $L_0$ は3色分光法の場合を示し、これは第3図の曲線 $L_0$ と同じである。曲線 $L_1$ は4色分光法の場合を示す。

曲線 $L_0$ は横軸と点 $P_4$ 及び $P_5$ で交わり、曲線 $L_1$ は横軸と点 $P_9$ 、 $P_{10}$ 及び $P_{11}$ で交わ

-74-

る。曲線 $L_1$ が極大点となる時の横座標 $P_{12}$ 及び極小点となる時の横座標 $P_{12}$ は上述の $G(Y)$ を $Y$ について微分しそれを零とおいて解けば求めることが出来る。

$$\sum_{i=1}^{m-1} \bar{F}_i Y^{m-1-i} = 0 \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$\bar{F}_i = (-1)^{i-1} \frac{1}{m-2} C_{i-1} \frac{X_{12}}{X_{11}} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{i-m} \quad \dots\dots\dots (39)$$

式(38)及び(39)において $m=4$ である場合の式(38)の根即ち極小値に対する横座標の点 $P_{12}$ の値 $Y_1$ 及び極大値に対する横座標の点 $P_{12}$ の値 $Y_2$ は夫々、

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{X_{22} \lambda_1^2}{X_{12} \lambda_1^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \frac{X_{12} X_{22} \lambda_1^2 \lambda_2^2}{X_{12}^2 \lambda_1^2 \lambda_2^2}} \right\} \\ Y_2 &= \frac{X_{22} \lambda_1^2}{X_{12} \lambda_1^2} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{X_{12} X_{22} \lambda_1^2 \lambda_2^2}{X_{12}^2 \lambda_1^2 \lambda_2^2}} \right\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (40-1)$$

-95-

であるが、一般的には $k \approx \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ であつて、2色分光法の測定値と、3色分光法の測定値とは一致しない式(40-1)及び式(40-2)にて得られる $Y$ の値は、式(25)を解く場合の初期値に利用することが出来る。

以上の説明までは分光放射率及び光度の測定について述べて来たが、その測定技法を分光反射率及び分光透過率の測定にも用いることを説明する。

分光放射率 $\epsilon_L$ である光源からの放射束が分光透過率 $\tau_L$ なる媒体中を伝播して分光反射率 $\rho$ なる被測定物で反射され、分光透過率 $\tau_s$ なる媒体中を伝播して測定装置にて検出される。

光源の強度を $T$ とし、完全黒体の分光放射率 $\epsilon_L$ をプランクの放射式で求めるものとし、測定装置のフィルタの実効波長、分光ゲイン及び検出値を夫々 $\lambda$ 、 $g$ 、及び $X$ とすると、検出値 $X$ は

$$X = g \tau_s \rho \tau_L \epsilon_L C \lambda^{-5} \left( \exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (41)$$

となる。こゝで

-97-

として求められる。

$Y_1$ の値を示す点 $P_{12}$ は $Y_2$ の値を示す点 $P_{12}$ より大きく、点 $P_{12}$ は正又は0の範囲にある。式(9')を考慮すれば、点 $P_5$ は点 $P_{12}$ と点 $P_{12}$ との間にあり、点 $P_4$ は点 $P_{12}$ よりも大きい領域にある。

曲線 $L_0$ の最小値を与える点 $P_8$ の $Y$ の値を $Y_4$ 、交点 $P_4$ の $Y$ の値を $Y_4$ 、又、式(32)に於て特に $m=2$ とおくと2色分光法に相当するが、この場合の式(32)の根の $Y$ の値を $Y_5$ とすると、夫々

$$\begin{aligned} Y_3 &= \frac{X_{22} \lambda_1^2}{X_{12} \lambda_1^2} \\ Y_4 &= \frac{X_{22} \lambda_1^2}{X_{12} \lambda_1^2} k \\ Y_5 &= \frac{X_{22} \lambda_1^2}{X_{12} \lambda_1^2} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (40-2)$$

として求められる。

式(40-2)に於て $1 \leq k \leq 2$ であり、 $1 < \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$

-96-

$$r_E = \tau_s \rho \tau_L \epsilon_L \quad \dots\dots\dots (42)$$

においてこれを当価反射率と呼ぶ。この $r_E$ を用いて式(41)を表わせば

$$X = g \tau_s C \lambda^{-5} \left( \exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (41')$$

となる。

式(41')を式(21)のように変形すれば、式(21)の左辺の $\epsilon_i$ を $r_E$ に変えた式と同じ式になる。従つて、分光放射率での測定法を用いて $r_E$ を測定し得る。

$\rho$ の測定は既知の分光反射率の被測定物を被測定物の位置に置いて測定した値と未知の分光反射率の被測定物を同一位置に置いて測定した値とから求める。他の方法としては、 $\epsilon_L$ 、 $\tau_L$ 、 $\tau_s$ を予め測定しておき、これらを用いて $\rho$ を求める。

又、分光透過率の測定における測定装置までの数式モデルは全く同じであり、従つて上述の分光放射率を分光透過率に置き替えるだけで、分光透過率は測定し得る。

-98-

上記までに説明した測定法を実施した測定装置を以下に説明する。

第6図は、第1の実施例の分光放射率測定装置1を示す。この装置1は温度放射をしている被測定物(光源)2からの放射束3を少なくとも3( $n \geq 3$ )種類以上に分光する分光光学系4と、分光光学系4で分光された分光放射束4dを電気的デジタル量(検出値)に変換する変換手段5と計算装置6とから構成されている。

被測定物2は温度未知の完全黒体2aを覆う分光放射率未知の膜2bから成る。

分光光学系4は集光器4a、実効波長を異にする少なくとも3( $n \geq 3$ )種類以上の分光フィルタ4b及びフィルタ4bを切替える切替器4cから成る。

変換手段5は光電変換器5a、A-D変換器5bから成る。

計算装置6は変換手段5からの電気的デジタル量の各々を実効波長別に記憶し、これに加えて測定装置1の常に知り得る管理状態にある値例え

ばフィルタ4bの透過率、A-D変換器5bのゲイン等を結合したゲイン $g$ 、実効波長 $\lambda$ の各々、並びに光学定数 $C_1$ 及び $C_2$ をデジタル量で記憶する記憶手段と、この記憶手段から所要数例え $m$ ( $n \geq m \geq 3$ )個のデジタル量、 $g$ 、 $\lambda$ 、並びに $C_1$ 及び $C_2$ を得る一方、得られた $m$ 個のデジタル量によつて光源2の温度及び $m$ 個の分光放射率の間に1つの束縛条件を設けて $m-1$ 自由度とした分光放射率を算定する計算手段を含む。

このように構成される分光放射率測定装置により被測定物の分光放射率は次のようにして測定される。

被測定物2からの放射束3は分光光学系4において分光され、その分光放射束4dは変換手段5により電気的デジタル量(検出値)へ変換される。

このデジタル量は上記記憶手段に実効波長別に記憶される。

これに直続して、検出値の一部又は全てを用いて放射束3の温度及び波長に対して分光放射率を

-39-

-40-

表わす式の $m-1$ 個の未知量を、上述の3色分光法、3色分光法を応用した $n$ 色分光法、精密 $m$ 色分光法又は精密 $m$ 色分光法を応用した $n$ 色分光法により解いて、被測定物の温度及び分光放射率を得る。

このような測定において、被測定物の分光放射率自体に従来のような条件を設けず、近似ではあるが $m-1$ の自由度をもたせて表わしているから、どのような分光放射率を有する被測定物即ち灰色体でも有色体でもその温度を正確に測定し得る。被測定物の分光放射率の近似に実効波長の $m-2$ 次式で近似すると計算が簡単化する。

又、分光光学系4のフィルタの実効波長間を上述した式(8')、(8'')又は(8''')の如き特定の関係に選定して構成すれば、この選定をしなくとも簡単化された計算処理は更に著しく簡略化しうる。

更に、被測定物の分光放射率を $m-1$ の自由度をもたせて表わしているため、被測定物以外の測定例えは特別の光源の測定を必要としない。

-41-

又、本発明の測定法によれば、疑似光源即ち同じ色温度にある光源を識別することが出来る。

温度は測定装置内の対物レンズのくもりや着色の影響なく測定し得る。

このような測定装置に各種物質の既知の分光放射率を予め用意しておけば、これらの既知の分光放射率と測定した分光放射率との相関を調べることから、被測定物の組成分析を行うことが出来る。

これに加えて、被測定物の温度放射を利用することから、暗闇の中にある被測定物の組成分析も同様に行える。

次に、第7図を用いて第2の実施例の分光放射率測定装置1'を説明する。

この実施例における被測定物2'、分光光学系4'、変換手段5'及び計算装置6'は第1の実施例に対して次のように変形されている。

被測定物2'は太陽2'aからの放射束2'a1を受ける物体2'bによつて構成され、分光光学系4'は走査鏡4'aと、走査鏡4'aの回転軸へ連結されたモータ4'bと、モータ4'bの回転軸へ連

-42-

結されたエンコーダ4'eと、エンコーダ4'eの出力へ接続され、駆動プログラムによる制御信号を発生するタイミング制御器7からの制御信号及びエンコーダ4'eからの出力を受けてセータ4'bへ駆動信号を送るモータ制御器4'dと、走査鏡で反射された物体2'bからの放射束2'b1を受光して反射する反射主鏡4'e及び反射副鏡4'f〔望遠鏡を構成する。〕と、この望遠鏡の焦点に設けられたコリメートレンズ4'gと、プリズム4'hと並びに装置の内部診断のために必要に応じて設けられる比較光源4'iとによつて構成される。

変換手段5'はプリズム4'hで分光された分光放射束4'jの各々に設けられた実効波長毎の光電変換器5'a、光電変換器5'a毎に設けられた増幅器5'b、増幅器によつて適当な値とされたアナログ量を一時貯えるサンプルホールド回路5'cと、増幅器5'bからのアナログ量がタイミング制御器7からのサンプリング信号によつて並列にサンプルされたサンプル値の各々をタイミング制御器7からのマルチプレキサー同期信号によつて各別に

-43-

デジタル化して後述のメモリ6'aへ送るマルチプレキサーとA-D変換器5'dとから構成されている。

計算手段6'はマルチプレキサーとA-D変換器5'dからの電気的デジタル量(検出値)を、タイミング制御器7からの走査鏡4'aの位置及び実効波長によつて決められる番地に記憶するメモリ6'aと、実効波長 $\lambda$ 、ゲイン $g$ 、光学定数 $C_1$ 及び $C_2$ 、太陽2'a、物体2'bに関する参考データ、並びに比較光源4'iに関するデータ等の装置定数を記憶するプリセットメモリ6'bと、タイミング制御器7からの計算同期信号を受けてメモリ6'a及びプリセットメモリ6'bから必要とする値を読み出して、上述した測定法で述べた計算処理をする計算器6'cとから構成されている。

この装置においては、物体2'bが走査され、その分光放射束4'jが並列に電気的アナログ量に変換され、直列的なデジタル量化され、タイミング制御器7の制御の下に測定値を求め得るように構成された点においてのみ、第1の実施例と相違

-44-

しその他の測定過程は全く同じであるからその説明は省略する。

その作用効果も又、上記相違点を除き、同じであり、その説明も省略する。

この第2の実施例において、太陽の代りに、照明電球を用いてもよい。そして、照明光源を走査鏡の走査対象に含めるように構成し得る。反射主鏡及び反射副鏡から成る望遠鏡の代りに、ズーム望遠鏡を用い、イメージサイクルを可変としてもよい。物体を点としてとらえてもよい場合には、プリズムの代りに干渉計、回折格子、干渉フィルタ等を用いてもよい。光電変換器として、サーミスタ、ボロメータ、光電子増倍管等を用いてもよく、中間赤外線以上の長波長測定においては冷却構造とするのがよい。光学系を構成する場合によく採用される手段即ち被測定物以外から来る放射束、装置の温度放射の影響を除くためのピンホールをプリズムの直前に設けるのもよい。

又、プリズムを可動にし、1個の光電変換器を用いて各検出値を得るための実効波長の切替をプ

-45-

リズムを動かして切替えるように構成してもよい。この技法は上述のように回折格子、干渉フィルタを用いる場合にも採用しうるものである。

第6図及び第7図のいずれの実施例の分光放射率測定装置は上述した測定法での説明において述べたように、分光放射率については若干の算出処理の修正をし、又分光透過率については同じようにして夫々の測定に用いる。

次に、本発明により光源の温度測定に基づいてカラーテレビジョン装置の色補正を行う場合について説明する。

第8図において、被写体(図示せず)からの放射束2'b1を受光する対物鏡〔反射主鏡4'e及び反射副鏡4'fから成る。〕と、放射束2'b1を3波長に分光するダイクロイックミラー4'j及び4'kと、ダイクロイックミラー4'jで反射した赤色光の一部を反射する半透明鏡4'mと、半透明鏡4'mからの赤色光を集光するレンズ10Rと、レンズ10Rからの赤色光を赤色像電気信号へ変換するイメージセンサ11Rと、ダイクロイ

-46-

ツクミラー 4" k で反射した青色光の一部を反射する半透明鏡 4" n と、半透明鏡 4" n からの青色光を集光するレンズ 10 B と、レンズ 10 B からの青色光を青色像電気信号へ変換するイメージセンサ 11 B と、ダイクロイツクミラー 4" k を通過した緑色光の一部を透過する半透明鏡 4" l と、半透明鏡 4" l からの緑色光を集光するレンズ 10 G と、レンズ 10 G からの緑色光を緑色像電気信号へ変換するイメージセンサ 11 G と、イメージセンサ 11 R , 11 B 及び 11 G からの各電気信号を後述する各別の掛算器を経て変調、復調補償回路 12 と、回路 12 からの映像電気信号を受信するカラー受像管 13 とは従来公知のカラーテレビジョン装置の内の、本発明を用いての色補正に關係する部分を示す。

第 8 図に示されるカラーテレビジョン装置の部分の内、反射主鏡 4" e 及び反射副鏡 4" f、並びにこれより前の光路部分は第 7 図の分光光学系 4' の反射主鏡 4' e 及び反射副鏡 4' f、並びにその前の部分に対応し、ダイクロイツクミラー

4" j 及び 4" k、並びに半透明鏡 4" l, 4" m 及び 4" n が第 7 図のプリズム 4' h に相当する。従つて、反射主鏡 4" e 及び反射副鏡 4" f、その前の光路部分、並びにダイクロイツクミラー 4" j, 4" k 及び半透明鏡 4" l, 4" m, 4" n は第 8 図における本発明の測定装置の分光光学系 4" を構成している。

又、半透明鏡 4" l, 4" m, 4" n の夫々に対応する光電変換器 5" a1, 5" a2, 5" a3、並びにこれらの光電変換器からのアナログ電気信号を直列的な電氣的デジタル量(検出値)に変換するマルチプレキサーと A-D 変換器 5" d が同様に、第 8 図における本発明の測定装置の変換手段 5" を構成している。

マルチプレキサーと A-D 変換器 5" d からの検出値の各々を受取る計算器 6" が第 8 図における本発明の計算装置である。この計算器は上述した計算処理をなして被写体光源の温度を算出し、被写体光源の分光放射束発散度と希望する光源の分光放射束発散度との比から赤色補正量、青色補

-47-

-48-

正量、及び緑色補正量を算出してその出力線 6" R, 6" B 及び 6" G 上に送出する。

イメージセンサ 11 R, 11 B, 11 G の出力と変調、復調補償回路 12 との間にイメージセンサ毎に上述したように掛算器 14 R, 14 B, 14 G が介設されている。これらの掛算器において各イメージセンサからの像電気信号と対応する出力線を経て送られて来る補正量とが掛算され、各色に対応する掛算器即ち赤色掛算器 14 R, 青色掛算器 14 B, 緑色掛算器 14 G から夫々、希望する光源である場合の赤色像電気信号、青色像電気信号、緑色像電気信号が線 15 R, 15 B, 15 G を経て変調、復調補償回路 12 へ送られる。点線枠 11 が付加した色補正部分を示す。

このようにして、カラーテレビジョン装置に本発明の測定装置を組み込めば、被写体の照明が劣悪であつてもその被写体を不適正な色彩で映し出すことはなく、適正な色彩で映像を映し出すことが出来る即ち被写体の照明の劣悪さから来る色歪の補正をなし得る。例えば、夜間低い色温度の即ち

可視光が少なく赤外に主波長を有する如き照明の下で被写体が撮像されたとしても、映し出される映像の色彩は白昼での撮像の如き色彩とすることが出来る。これは被写体を照明している光源の温度を被写体からの光を利用して測定することによりその光源の分光放射束発散度を決定出来、これより被写体を希望する分光放射束発散度の光源で照明した場合に 3 つの波長毎に得られるであろう検出値との相違を推定することが出来るからである。即ち、上述の如く両者の比を求め検出値との乗算をなして色補正をすることが出来る。

次に、本発明の測定法を応用する際に、分光放射束像を一旦記録手段例えば写真フィルムに記録し、その読出し後の処理を上述したと同様にした場合について説明する。

第 9 図は温度分布像又は組成像表示装置を示し、点線枠 4''' は本発明における分光光学系を構成し、この分光光学系 4''' からの各分光放射束像を各別に記録する記録手段は 20 で示してある。

記録手段の分光放射束像の各座標の値を電氣的

-49-

-50-

デジタル量(検出値)に変換する変換手段5'''が点線枠で示されている。

変換手段5'''から検出値を像の各座標について計算して温度及び分光放射率の測定値を算出する計算器5'''を含み、記録像の全座標について得られた測定値を記憶するメモリ21a、受像管21b及びメモリ21aの各測定値を映像電気信号へ変換して受像管21b上に表示させるインターフェイス21cを有する画像解析装置21が点線枠で示されている。

分光光学手段4'''は図示しない被測定物からの放射束Bを順次に分光するダイクロイックミラー4'''01、4'''02、4'''03と、これらのダイクロイックミラーからの分光放射束を反射する反射鏡4'''p1、4'''p2、4'''p3とこれらの反射鏡からの放射束を集束する対物レンズ4'''q1、4'''q2、4'''q3及びダイクロイックミラー4'''03からの放射束を集束する対物レンズ4'''q4とから成り、これらの対物レンズからの分光放射束像は記録手段20の対応する記録手段例えば写真フィルム201、

202、203、204へ記録される。

この写真フィルムの全座標を走査し、各座標の分光放射束を電気的デジタル値へ変換して記録する変換手段5'''は次のように構成されている。

写真フィルムを周面上に添着するための回転ドラム5'''aと、ドラム5'''aを回転させるモータ5'''bと、モータ5'''bの回転軸に取付けられたエンコーダ5'''cと、回転ドラム5'''a上の写真フィルムを照射する光源5'''d、この光源からの光を集光するレンズ5'''e、及びレンズ5'''eからの光を電気信号に変換する光電変換器5'''fを搭載した架台5'''gと、架台5'''gを直線駆動する送りねじ5'''hと、送りねじ5'''hを回転駆動するモータ5'''iと、モータ5'''iの回転軸へ取付けられたエンコーダ5'''jと、エンコーダ5'''c及び5'''jからの信号を受け、モータ制御器5'''kへモータ駆動プログラム信号を送るタイミング制御器5'''lと、モータ5'''b及び5'''iの回転駆動を制御する前記モータ制御器5'''kと、タイミング制御器5'''lからのサンプリング信号を受けて各座標からのアナログ信号を電気的なデジタル

-51-

-52-

値(検出値)へ変換して送出するA-D変換器5'''mと、A-D変換器5'''mからのデジタル値を座標毎に記憶する磁気テープ5'''nとから構成されている。

この変換手段5'''はモータ制御器5'''kの制御の下にあるモータ5'''bによつて回転駆動される回転ドラム5'''aの回転位置と、同様にモータ制御器5'''kの制御の下にあるモータ5'''iによつて回転駆動され、そして直線駆動される架台5'''g上の走査用光学系の光点位置との相対的位置を変えることによつて写真フィルムの全座標を順次に走査用光学系5'''d、5'''e、5'''fで走査しうるように、走査が進むにつれてエンコーダ5'''c及び5'''jからフィードバック信号をタイミング制御器5'''lへ送つて駆動プログラム信号をモータ制御器5'''kへ与えつつ上記フィードバック信号を又モータ制御器5'''kへ送る。

このような写真フィルムの走査によつて発生されるアナログ電気信号は上述の如くタイミング制御器5'''lからの、各座標走査と同期したサンプリ

ング信号を受けるA-D変換器5'''mにおいてデジタル値へ変換されそして磁気テープ5'''nへ記録される。

磁気テープ5'''nから読出された各デジタル値(検出値)は上述の画像解析装置21へ送られ処理されて、被測定物の温度分布像、又は被測定物の分光放射率及びその温度と、既知の物質のそれらとの相関(これは計算装置6'''において処理される。)から被測定物の組成像が受像管21b上に表示される。

以上説明したところから明らかなように、本発明によれば、次のような効果が得られる。

- ① 分光放射率を正確に測定し得る。従つて温度の測定も正確となる。
- ② 被測定物の分光放射率に $m-1$ 自由度をもたせて測定するのでどのような分光放射率を有する被測定物の分光放射率も測定出来、従つて灰色体だけでなく有色体の温度も正確に測定出来る。
- ③ 分光放射率を実効波長の $m-2$ 次整式で近似

-53-

-54-

すると、 $m$ 元連立無理方程式が、1元無理方程式に変形出来て、計算が簡略化される。

④ 実効波長間に特定の関係が成立するようにフィルタを選定すれば分光放射率を実効波長の $m-2$ 次整式で、近似することにより簡便化された計算処理が更に著しく簡略化される。

⑤ 被測定物以外の測定例えば特別の光源を必要としない。

⑥ 疑似光源即ち同じ色温度にある光源を識別することが可能である。

⑦ 測定装置内の対物レンズのくもりや着色の影響なく温度を測定し得る。

⑧ 各種技術分野例えば、上空からの地表測定、炉内温度測定、鋼板性状測定、コークスの含有水分測定、映像の色補正等への応用性が高い。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の3色分光法の説明に用いる実効波長対分光放射率のグラフ、第2図は3色分光法で得られる測定値が存在する領域を示すグラフ、第3図は3色分光法を応用した $n$ 色分光法の説明

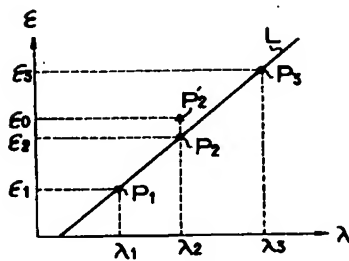
に用いる線分を重ねたグラフ、第4図は3色分光法と精密3色分光法による測定値の差違を説明するためのグラフ、第5図は3色分光法及び4色分光法及び従来の2色分光法の違いを説明するためのグラフ、第6図及び第7図は夫々、本発明の第1及び第2の実施例の分光放射率測定装置を示す図、第8図は本発明の測定装置をカラーテレビジョン装置内に組込み、照明が不適正な場合に生ずる色歪を補正する装置を示す図、第9図は分光放射率像を記録する手段を用い、被測定物の温度分布像、組成像等を表示し得る装置を示す図である。

図中、2、2'は被測定物、4、4'、4''は分光光学系、5、5'、5''、5'''は変換手段、6、6'、6''、6'''は計算装置である。

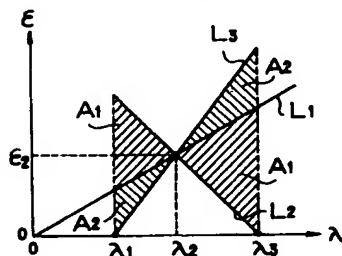
特許出願人 石川島播磨重工業株式会社

代理人弁理士 絹谷 信雄

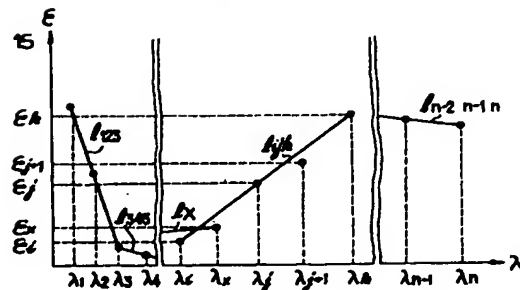
第1図



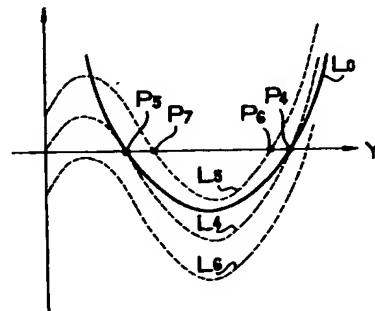
第2図



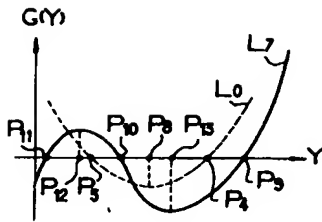
第3図



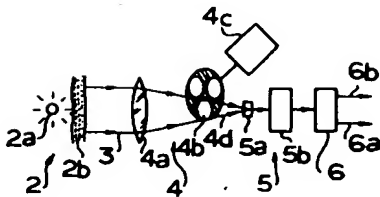
第4図



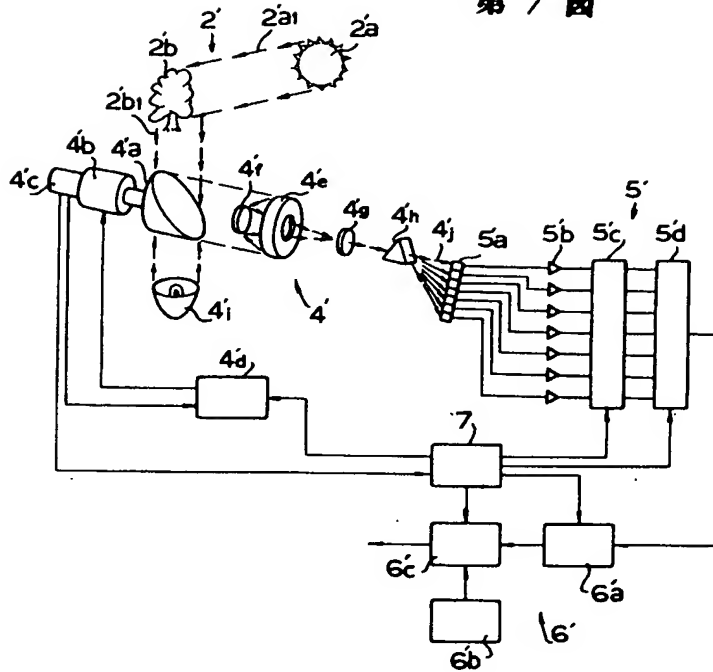
第 5 圖



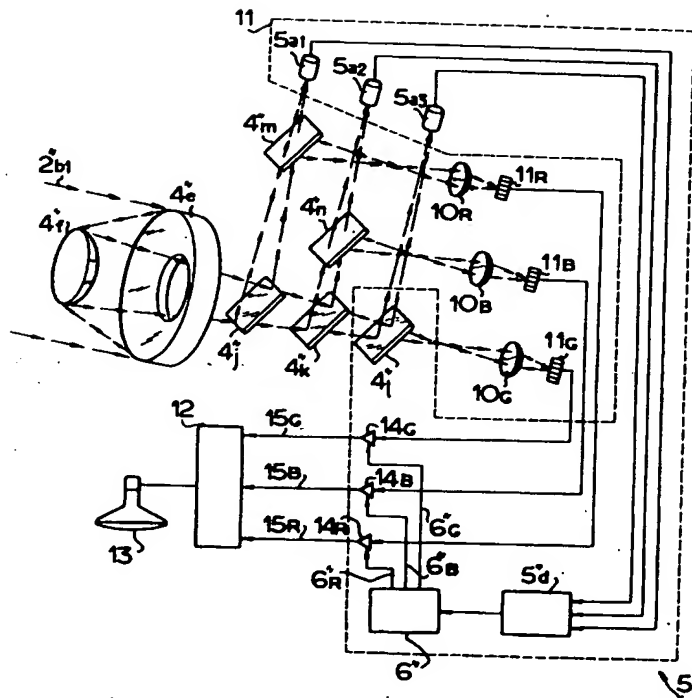
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



第9図

